

МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ

УДК 669.15-194

© Скребцов А.М.¹, Кузьмин Ю.Д.², Терзи В.В.³,
Секачев А.О.⁴, Качиков А.С.⁵

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ГРАДИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ВАННЕ МЕТАЛЛА

Предложена формула для вычисления градиентов концентрации элементов и температур по высоте сталеплавильной ванны в безразмерных процентах на метр её глубины. По формуле обобщены литературные данные по этому вопросу.

Ключевые слова: жидкая сталь, безразмерные концентрации элементов и температур.

Скребцов О.М., Кузьмин Ю.Д., Терзи В.В., Секачев О.А., Качиков О.С. Новый взгляд на градиенты концентраций элементов в сталеплавильной ванне металла. Запропонована формула для обчислення градієнтів концентрацій елементів і температур по висоті сталеплавильної ванни у безрозмірних відсотках на метр її глибини. По формулі узагальнені літературні дані з цього питання.

Ключові слова: рідка сталь, безрозмірні концентрації елементів і температур.

O.M. Skrebtsov, U.D. Kuzmin, V.V. Terzie, O.A. Sekachov, O.S. Kachikov. A new view on the gradients of concentration of elements in steel-smelting bath of metal. A formula is offered for the calculation of gradients of concentration of elements and temperatures on the height of steel-smelting bath in dimensionless percents per of its depths. According to the formula literary data are generalized regarding this question.

Keywords: liquid steel, dimensionless concentrations of elements and temperatures.

Постановка проблемы. Известно, что при выплавке стали сплав неоднороден по температуре и его химическому составу по элементам (C, S, P, Si, Mn, Ni и т. д.). Поэтому актуальной является проблема обобщения разрозненных литературных данных по этому вопросу с целью разработки новых количественных характеристик такого явления и учета его при выплавке стали.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] при выплавке металла в дуговых электропечах отбирали пробы на разной глубине ванны в середине окислительного и восстановительного периодов и анализировали их на содержание следующих элементов: C, S, P, Mn, Cr, O, N. В работе [2] провели опыты в 70 – т основной мартеновской печи с отбором проб металла на разных горизонтах ванны с последующим химическим анализом их на элементы: C, S, P, Mn, O. В публикации [3] основное внимание уделено градиентам температур в ваннах мартеновских печей. Автор нашел эмпирическую зависимость между градиентом концентрации углерода (ΔC) и градиентом температуры ($\text{grad } t$) по высоте ванны ΔH .

При описании опытов по определению градиентов концентраций (неоднородностей) элементов разные авторы используют различный подход к этому явлению. Так, например, в работе [1] применяется выражение $\Delta P / L$, где P – примесь (C, N, O и др.), а L – расстояние между точками отбора проб металла. Недостаток этого подхода - используется только абсолютное значение ΔP . При этом относительное значение $\Delta P_{\text{отн}}$ по сравнению со средним значением $\Delta P_{\text{ср}}$ для

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁵ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

разных элементов может быть разным. Это не дает возможность сравнивать экспериментальные данные различных авторов.

В работе [2] приводятся зависимости между концентрациями углерода [C] и кислорода [O] в металле; приведены также произведения концентраций [C] · [O] в зависимости от значения [C]. Экспериментальные данные по градиентам концентраций других элементов (Mn, P, S) не обсуждаются.

В работе [3] приведен показатель $\frac{\Delta C}{\Delta H}$ в абсолютных значениях величин, не приводят эти числа значений к безразмерному виду.

В работе [4] опыты провели в 500 – т мартеновских печах с отбором проб на разных горизонтах ванны.

Цель статьи – обобщить литературные данные по градиентам концентраций элементов по высоте сталеплавильной ванны.

Изложение основного материала. Для обобщения литературных данных по градиентам концентраций элементов (grad x) по высоте ванны в настоящей работе предложили следующую формулу вычисления относительной неоднородности:

$$\text{grad } x = \frac{C_B - C_H}{C_{CP}} \cdot 100 \cdot \frac{1}{\Delta H} \cdot \frac{\%}{\text{м}},$$

где C_B, C_H, C_{CP} , соответственно, концентрации элемента в верхней, нижней частях ванны и также среднее ее значение;

ΔH – расстояние между уровнями отбора проб в печи, м.

Преимущества предложенной формулы заключаются в том, что она имеет только одну размерную величину ΔH , м. Концентрации элементов в формуле выражены в безразмерных процентах. Поэтому вычисленные по этой формуле величины можно сравнивать для разных плавильных агрегатов.

В работе [1] в 10 - , 40 - и 100 – т дуговых электропечах с глубиной ванны металла соответственно 470, 750 и 1200 мм нижнюю пробу отбирали на расстоянии 200 мм от подины печи. В тех же печах верхняя проба была соответственно расположена на расстоянии 450, 600, и 1050 мм от подины.

В каждой точке по всем печам отбирали по 3–4 пробы. Из значений концентраций элементов в точке вычисляли их среднее значение.

На рисунке приведены значения средних относительных концентраций элементов grad x, %/м, для электропечей различной емкости. При положительном градиенте концентраций примесей больше в верхнем слое металла по сравнению с нижним, а при отрицательном – меньше.

Авторы работы [1] утверждают в своей статье, «что такие примеси, как C, Mn, Cr, S, P равномерно распределяются в кипящем металле в 10 – 100 т. электропечах». Представленный рисунок не согласуется с этим выводом авторов работы [1]. Так, например, в окислительный период для печей разной емкости градиенты концентраций кислорода и азота всегда положительны. Градиент концентраций углерода отрицателен для 10 – т печи и положителен для 40 т и 100 т. печей (поз. а на рис.), сера в 40 т печах имеет нулевой градиент концентраций, в 10 т и 100 т – отрицательный (поз. г на рис.). Отрицательные градиенты во всех печах имеют Cr, P, Mn (поз. д, е на рис.). Градиенты концентраций серы и хрома (поз. г, д на рис.) для всех печей отрицательны. Для углерода в 10 – т печи градиент концентраций положителен, а для других печей – отрицателен.

В работе [2] пробы металла в 70 – т мартеновской печи отбирали в верхней и нижней частях ванны, расстояние между точками отбора проб составляло 0,5 м. Средние значения grad x для углерода, кислорода, серы, фосфора и марганца, вычисленные по выше приведенной формуле, составили, соответственно, +7,6 %/м (8 проб), +33,9 %/м (6 проб), +41,4 %/м (5 проб), +7,4 %/м (10 проб), +6,1 %/м (14 проб). Сравнение этих значений с данными рисунка показывает, что результаты изучения grad x по углероду и кислороду совпадают по порядку величины. Это подтверждает один и тот же механизм окисления углерода в электро- и мартеновских печах. Такой вывод нельзя сделать по зависимостям для серы, фосфора и марганца. Видимо, поведение этих примесей в электро- и мартеновских печах отличается друг от друга.

В работе [4] пробы металла отбирали на трех уровнях по высоте ванны 500–т мартеновской печи – первую, – в подшлаковом слое и на расстояниях 0,5 м и 0,95 м от первой пробы.

Обработка экспериментальных данных этой работы по градиентам концентраций углерода и кислорода позволила установить механизм окисления углерода – в одни периоды плавки в подшлаковом слое при положительном значении $\text{grad } C$, и в другие периоды при отрицательном значении $\text{grad } C$ – на подине печи. Что касается азота, то оно отличается от электропечей работы [1]. По двум определениям азота в пробах металла, относительные концентрации: 0 %/м и –0,75 %/м, можно только предполагать, что удаление азота из кипящей ванны мартеновской печи отстает от окисления углерода.

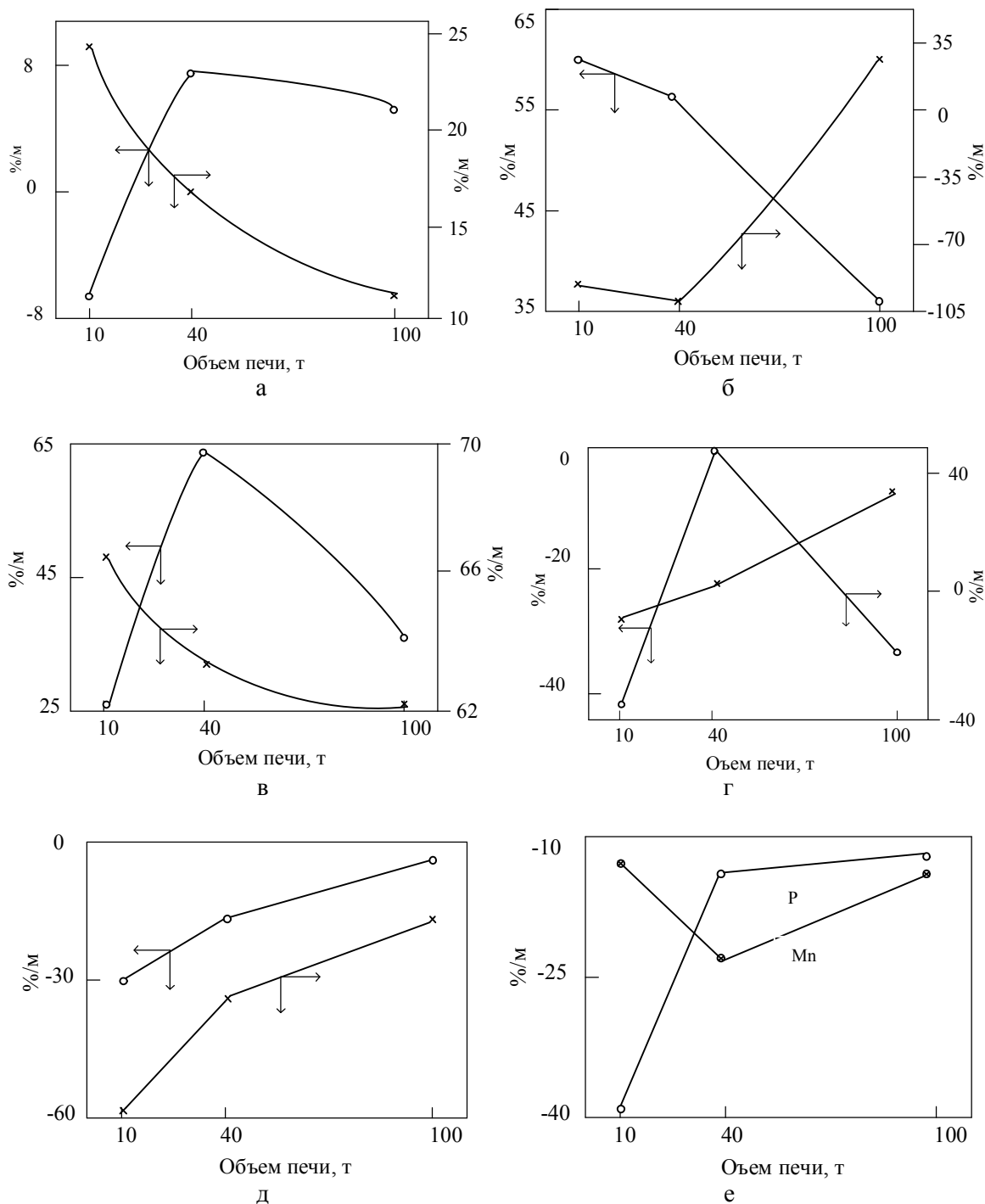


Рисунок – Кривые относительной концентрации элементов $\text{grad } C$, %/м, для электропечей емкостью 10, 40 и 100 т: а – углерод; б – кислород; в – азот; г – сера; д – хром; е – фосфор и марганец для окислительного периода; ○ – окислительный период, × – восстановительный период; ● – окислительный период для марганца

Данные по температурным градиентам в расплавах металла в ваннах 60 – т и 250 – т мартеновских печей составляют 10–20 град/м [3]. Если в приведенной выше формуле концентрации элементов заменить на температуры (принято 1550°C), то градиенты на метр составят при 10 град/м:

$$\text{grad } T_1 = \frac{1550-1540}{1545} \cdot 100\% \cdot \frac{1}{1\text{м}} = \frac{1000}{1545} \cdot \frac{1}{1\text{м}} = 0,65 \text{ \%}/\text{м}.$$

Аналогично grad T_2 при 20 град/м равен 1,3 %/м.

Таким образом, градиенты концентраций элементов (%/м) в расплавленных ваннах электро- и мартеновских печей изменяются в очень широких пределах – от 60 до 70%/м. Градиенты температуры в кипящей сталеплавильной ванне изменяются примерно в пределах $0,65 \div 1,30 \text{ \%}/\text{град}$.

Выводы

1. В технической литературе имеется мало данных о распределении различных элементов сталеплавильной ванны по её высоте, а также по ее температуре.
2. Предложена формула для вычисления степени неоднородности элементов по высоте кипящей сталеплавильной ванны в безразмерных процентах на 1 метр ее высоты.
3. Найдено, что степень неоднородности различных элементов в расплавленной ванне печи изменяются в очень широких пределах – от –60 до +70 %/м. Градиент температуры по высоте ванны очень мал и составляет примерно $0,65 \div 1,30 \text{ \%}/\text{град}$.

Список использованных источников:

1. Строганов А.И. Распределение примесей по глубине металла в ваннах дуговых электропечей / А.И. Строганов, Ю.А. Пыльнев // Тепло- и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов. – М.: Metallurgiya, 1975. – С. 312-321.
2. Ойкс Г.Н. Механизм выгорания углерода в мартеновской печи / Г.Н. Ойкс, Ю.М. Максимов, Е.А. Калужский // Технологические, физико-химические и механические свойства стали. – М.: Metallurgizdat, 1949. – С. 46-61.
3. Непрерывный контроль температуры жидкой стали в период доводки мартеновской плавки / В.С. Кочо, Г.В. Самсонов, А.Г. Стрельченко, П.С. Кислый. – Киев: Редакция литературы по горному делу и металлургии. – 1965. – 228 с.
4. Состав металла по горизонтам ванны 500-т мартеновской печи и обезуглероживание стали / Е.В. Челищев [и др.] // Физико-химические основы производства стали. Труды 5-ой научно-технической конференции. – М.: Metallurgizdat, 1961. – С. 511.

Bibliography:

1. Stroganov A.I. Distribution of admixtures on the depth of metal in baths of electric-arc furnaces / A.I. Stroganov, U.A. Pulnev // Warmly- and mass-exchanged processes in bathtubs of steel-smelting units. – M.: Metallurgiya, 1975. – P. 312-321. (Rus.)
2. Oiks G.N. The mechanism of burning out of carbon in the martin furnace / G.N. Oiks, U.M. Maksimov, I.A. Kaluga // Technological, physics-chemical and mechanical properties became. – M.: Metallurgizdat, 1949. – P. 46-61. (Rus.)
3. Continuous monitoring of the temperature of liquid steel during finishing of open-hearth smelting / V.S. Kocho, G.B. Samsonov, A.G. Strelchenko, P.S. Kisliy. – Kyiv: Release of literature in mountain business and metallurgy. – 1965. – 228 p. (Rus.)
4. Composition of metal on horizons of bath a 500 tonn of martin stove and decarbonating became / E.V. Chelisev [and other] // Physical-chemical basis of the production of steel. Proceedings of the fifth Scientific-technical conference. – M.: Metallurgizdat, 1961. – P. 511. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 02.12. 2013